

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 39 42 051 A 1**

⑳ Aktenzeichen: P 39 42 051.5
㉑ Anmeldetag: 20. 12. 89
㉒ Offenlegungstag: 9. 8. 90

㉓ Int. Cl. 5:
C 23 C 28/00
C 23 C 24/08
B 32 B 15/01
B 32 B 7/04
B 32 B 31/00
B 23 K 26/00
F 04 D 29/38

DE 3942051 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
08.02.89 US 307795

⑦1 Anmelder:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

⑦4 Vertreter:
Schüler, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 6000
Frankfurt

⑦2 Erfinder:
Pratt, Vanon David, Hamilton, Ohio, US; Scheidt,
Wilbur Douglas; Whitney, Eric James, Cincinnati,
Ohio, US

⑤4 Verfahren zum Herstellen von Gegenständen durch schichtenweise Aufbringung

Ein Gegenstand wird durch Aufbringen einer Folge von übereinanderliegenden Materialaufträgen gefertigt, wobei das Muster und die Lage der Aufträge auf die tatsächlichen charakterisierenden Eigenschaften des entsprechenden Querschnitts des gewünschten Gegenstandes ausgerichtet und zugeschnitten sind. Die Definition der Gegenstandsform wird erzielt, indem die Komponente als eine Serie von Schnitten oder Scheiben mit der Dicke des Auftrags charakterisiert wird und ein computergesteuerter Auftragungskopf so programmiert wird, daß er eine Folge von Aufträgen mit den jeweiligen Mustern und Lagen aufbringt. Die Schichtaufbringung wird vorzugsweise durch Präzisionslaserschweißung erzielt. Komplexe Formen mit Eigenschaften, die vergleichbar zu denen von geschmiedeten oder in Form gegossenen Materialien sind, können einfach und schnell hergestellt werden. Das in den aufeinanderfolgenden Materialaufträgen verwendete Material kann variiert werden, so daß eine Komponente einer abgestuften Zusammensetzung zur Erzielung bestimmter Eigenschaften in verschiedenen Bereichen herstellbar ist.

DE 3942051 A1

Die Erfindung betrifft die Herstellung von Gegenständen oder Komponenten und insbesondere die Herstellung von solchen Komponenten durch gesteuerte Aufbringung oder Auftragung von Schichten der Materialbestandteile.

Verbesserungen in der Herstellungstechnologie und den Herstellungsmaterialien sind der Schlüssel zur Verbesserung der Eigenschaften und zur Herabsetzung der Kosten für zahlreiche Gegenstände. Als Beispiel sollen die fortgesetzten und häufig in gegenseitigem Zusammenhang stehenden Verbesserungen bei Verfahren und Materialien dienen, die in grundlegenden Verbesserungen der Eigenschaften und Wirkungsgrade von Luftfahrzeuggasturbinentriebwerken resultierten.

Luftfahrzeuggasturbinen- oder Strahltriebwerke ziehen Luft nach innen und komprimieren Luft mit einem Axialströmungsverdichter, mischen die verdichtete Luft mit Treibstoff, brennen die Mischung ab und stoßen das Verbrennungsprodukt durch eine Axialströmungsturbine aus, die den Verdichter antreibt. Der Verdichter umfaßt eine Scheibe mit Schaufeln, die von deren Umfang abstehen. Die Scheibe dreht mit hoher Geschwindigkeit auf einer Welle, und die gekrümmten oder gewölbten Schaufeln ziehen in etwa vergleichbarer Weise wie ein elektrischer Lüfter Luft ein und verdichten diese.

In der gegenwärtigen Herstellungspraxis wird der Verdichter durch Schmieden der Verdichterscheibe aus einem Stück mit Schlitten an ihrem Umfang hergestellt.

Die Verdichterschaukeln werden als einzelne Bauteile in Form gegossen oder geschmiedet, wobei Ansatzabschnitte, sogenannte Schaufelwurzeln, die als "Schwalbenschwanz" bezeichnet werden, geformt werden, die in die Schlitten in der Scheibe einpassen. Die Anordnung wird fertiggestellt, indem die Schwalbenschwanzabschnitte in die Schlitten der Scheibe eingeschoben werden. Falls eine Schaufel sich nicht sauber einpaßt, zu Bruch geht oder während der Benutzung beschädigt wird, kann sie leicht durch Umkehren des Zusammenfüggungsvorgangs entfernt und durch eine neue Schaufel ersetzt werden.

In letzter Zeit wurde auch vorgeschlagen, die Schaufeln integral mit der Scheibe in einer Kombination einer integralen Schaufel/Scheibenanordnung herzustellen, die als sogenanntes "Blisk" (Kombination der Wörter Blades und Disk) bezeichnet wird. Diese Blisk-Lösung zur Herstellung liefert die Möglichkeit einer verbesserten Ausführung (Wirkungsgradsteigerung) durch herabgesetztes Gewicht. Ein solcher Gegenstand kann als große Scheibe mit einem Metallüberstand an deren Umfang gegossen oder geschmiedet werden. Die Schaufeln werden daraufhin aus dem Überstandsmaterial, integral an der Scheibe befestigt, gearbeitet. Das Endprodukt ist jedoch in der Herstellung sehr teuer, da es aufwendigste hochpräzise Bearbeitungsvorgänge erfordert. Ein Fehler in der Bearbeitung auch nur einer der Schaufeln kann zur Ausmusterung und zum Ausschuß des gesamten Blisks führen.

Darüber hinaus stellen die Ersetzung oder Reparatur einer beschädigten oder zerstörten Schaufel oder eines Schaufelabschnitts des Blisk bei dieser Herstellungslösung ein schwerwiegendes Problem dar. Bricht beispielsweise eine gesamte Schaufel oder ein Teil einer Schaufel infolge der Einfangung von Fremdkörpern während des Betriebs des eingesetzten Blisks ab, so verliert das Blisk seine Ausbalancierung und wird instabil. Bislang ist kein Verfahren bekannt, die beschädigte

Schaufel in einer Weise zu reparieren, die nicht eine verschlechterte Eigenschaft zur Folge hat, so daß ein Bedarf an einer solchen Lösung besteht. Es ist anzustreben, daß eine solche Lösung beim Herstellen des Blisk zur Herabsetzung dessen Kosten verwendet würde. Die vorliegende Erfindung löst die Aufgabe, diesen Bedarf zu decken und bietet darüber hinaus weitere im folgenden erläuterte Vorteile.

Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zum Fertigen oder Herstellen und zum Reparieren von Gegenständen oder Komponenten und Teilen davon, wie beispielsweise der Schaufeln von Blisks. Das erfindungsgemäße Verfahren schafft Gegenstände, die bezüglich ihrer Eigenschaften mit gegossenen oder geschmiedeten Gegenständen vergleichbar sind, jedoch den zusätzlichen Vorteil aufweisen, daß sie integral mit einer anderen Komponente ausgebildet sind. Wird das Verfahren dazu verwendet, einen beschädigten Gegenstand zu reparieren, der zuvor durch denselben Prozeß angefertigt worden ist, so ist der reparierte Gegenstand scheinbar nicht mehr vom Original zu unterscheiden. Das Verfahren gestattet die exzellente Steuerung sowohl hinsichtlich Form als auch Aufbau einfacher und ebenso auch komplexer Formen und gestattet darüber hinaus eine abgestufte Materialzusammenstellung über den ganzen Gegenstand hinweg. Die Steuerung der Variation der Zusammensetzung wiederum erlaubt es den Konstrukteuren, einen Gegenstand mit spezifischen Eigenschaften auszuliegen, die an die jeweils erforderlichen Leistungsanforderungen der unterschiedlichen Gegenstandsregion angepaßt sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen eines Gegenstands umfaßt die Schritte des Aufbringens bzw. Abscheidens eines ersten Materialauftrags oder einer ersten Materialschicht in einem Muster und einer Ausdehnung (Breite) eines ersten Querschnitts oder Profils des Gegenstandes. In einem zweiten Schritt wird ein zweiter Materialauftrag als eine über dem ersten Materialauftrag liegende Schicht in einem Muster, an einer Stelle und mit einer Ausdehnung relativ zum ersten Auftrag aufgebracht, die einem zweiten Querschnitt oder Profil des Gegenstandes entsprechen. Der zweite Querschnitt wird an einer Stelle im Gegenstand aufgenommen oder ermittelt, die vom ersten Querschnitt um die Dicke des ersten Auftrags beabstandet ist. Ferner wird, bis der gesamte Gegenstand vervollständigt ist, eine Vielzahl derartiger Auftragungsschritte wiederholt, wobei jeder folgende Materialauftrag in einem Muster, an einer Stelle und mit einer Ausdehnung in bezug auf den zuvor aufgetragenen Auftrag aufgebracht wird, die dem jeweils nächstfolgenden Schnitt des Gegenstandes entsprechen, der an einer Stelle aufgenommen worden ist, die vom jeweils vorigen Schnitt um die Dicke des zuvor aufgetragenen Auftrags beabstandet ist.

Alternativ ausgedrückt und in einem anderen Ausführungsbeispiel umfaßt das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen eines Gegenstandes folgende Schritte. Der Gegenstand wird durch mehrere paralleler Schnitte oder Profile charakterisierend erfaßt, wobei jeder Schnitt ein Verlaufsmuster und eine Lage aufweist und jeder Schnitt vom angrenzenden Schnitt um die Dicke eines Materialauftrags verschoben oder versetzt ist. Ferner wird eine Aueinanderfolge von Materialaufträgen, die übereinandergeschichtet sind, aufgebracht oder abgeschieden, wobei jeder Materialauftrag ein Muster und eine Lage aufweist, die der des jeweiligen Schnitts oder Profils entsprechen, das in diesem Schnitt zur Cha-

rakterisierung bestimmt worden ist.

Entsprechend einer bevorzugten Anwendung der Erfindung wird ein Verfahren zum Herstellen einer Verdichterschaukel angegeben, die integral, d. h. einstückig mit einer Verdichterscheibe ausgebildet ist, wobei dieses Verfahren die Ausbildung bzw. Bereitstellung einer Verdichterschaukel umfaßt, die eine Substratoberfläche an ihrem Umfang bzw. Kranz aufweist. Auf dieser Substratoberfläche wird ein erster Materialauftrag aufgebracht, wobei dieser Auftrag das Muster und die Lage der Verdichterschaukel angrenzend an die Verdichterscheibe aufweist, d. h. dem Profil des Übergangs zwischen Schaukel und Scheibe folgt. Ferner wird eine Aufeinanderfolge von derartiger Materialaufträge aufgebracht, wobei jeder Auftrag über dem zuvor aufgetragenen Auftrag liegt und darüber hinaus das Muster und die Lage des entsprechenden Abschnitts von der Verdichterschaukel aufweist. Sind der Schnitt bzw. das Profil der Schaukel dicker als ein einziger Auftrag, so können zwei oder mehr Aufträge Seite an Seite, nebeneinander zur Ausbildung einer einzigen Schicht aufgebracht werden, und dann können zusätzliche Auftragsätze aufgebracht werden, die über dieser Schicht zur Ausbildung folgender Schichten liegen.

Zahlreiche Gegenstände können als eine Anordnung von Schnitten, Profilen oder Scheiben, die parallel zueinander sind, analysiert werden. Der Gegenstand ist dann vollständig durch das Muster jedes Schnitts, d. h. dessen Form und Ausdehnung sowie Lage jedes Schnitts, d. h. die Beziehung des Schnitts zu den angrenzenden Schnitten oder Profilen, definiert. Das Muster jedes Schnitts kann durch die Bildung eines Auftrags von aufgebrachtem oder abgeschiedenem Material realisiert werden, wobei ein solcher Auftrag eine längliche Aufbringung oder Abscheidung ist, die durch Bewegen des Substrats relativ zur Wärmequelle ausgebildet wird. Ist dies der Fall, so kann der Gegenstand durch Aufbringen eines Auftrags (oder mehrerer nebeneinanderliegender Aufträge, wenn nötig) in der Form des Musters eines Schnitts und durch darauffolgende inkrementelle Anhebung der Aufbringungs Vorrichtung um die Auftraghöhe sowie durch die Auftragung oder Aufbringung weiterer Aufträge hergestellt werden, die das Muster des nächsten Schnitts und die erforderliche Lage in bezug auf den zuvor aufgetragenen Materialauftrag aufweisen. Das Verfahren wird so lange wiederholt, wie es zur Ausbildung des vollständigen Gegenstandes notwendig ist.

Beispielsweise haben bestimmte Verdichterschaukeln eine relativ dünne Breite in der Größenordnung von 3,2 mm (1/8 inch), was einem leicht mit einer Laserschweißvorrichtung aufbringbarem Auftrag entspricht. Jeder Schnitt bzw. jedes Profil wird in einem einzigen Durchlauf (d. h. einer einzigen Relativbewegung in eine Richtung zwischen Substrat und Vorrichtung) der Laserschweißvorrichtung aufgebracht. Nach Beendigung des Durchlaufs wird der Schweißkopf um die Höhe des Auftrags, typischerweise 0,38 mm (0,015 inch.) inkrementell nach oben bewegt und eingestellt, und der nächste Schnitt wird mit einem einzigen Laserschweißdurchlauf aufgebracht. Während jedes Durchlaufs schmilzt die Laserschweißauftrageinheit den oberen Bereich des zuvor aufgetragenen Materialauftrags (oder Substrats im Fall des ersten Durchlaufs) und fügt über eine Pulvereinspeisung mehr Material, d. h. Zusatzmaterial zur Ausbildung des darüberliegenden Auftrags hinzu. Das neu hinzugefügte Material des darüberliegenden Auftrags und der geschmolzene Abschnitt des zuvor auf-

getragenen Materials vermischen sich teilweise und erstarrten zusammen, wodurch eine kontinuierliche, starke und feste Struktur durch alle Aufträge hindurchgehend sichergestellt ist.

Eine breite Vielzahl unterschiedlicher Formen und Schnittkonfigurationen können durch diese Lösungen hergestellt werden. Massive Teile können durch Über-einanderschichtung von Materialaufträgen hergestellt werden. Eine vergrößerte Dicke kann erzielt werden, indem in jeder Schicht mehrere Aufträge nebeneinander gelegt werden und dann mehrere derartiger Aufträge über dieser Schicht aufgebracht werden. Teile variabler Dicke werden hergestellt, indem die Anzahl von Aufträgen pro Schicht variiert wird. Hohle Tragflügelprofile oder andere Hohlformen können hergestellt werden, indem der Auftrag in Form einer Außenwandung aufgebracht wird und dann weitere Aufträge jeweils auf der Oberseite des vorangegangenen Auftrags aufgebracht werden. Hohlprofile mit inneren Strukturen oder Bauteilen, wie beispielsweise Kühlpassagen, können hergestellt werden, indem beispielsweise Rippen zusätzlich zu den Außenwandungen zu jedem Schnitt oder Profil hinzugefügt werden. So kann mehr oder weniger jede Form durch eine Zusammenstellung von Materialaufträgen definiert werden, und die vorliegende Lösung bietet die Vielseitigkeit, eine solche breite Vielzahl von Formen abzudecken. Typische Luftfahrzeugtriebwerksanwendungen umfassen Verdichterschaukeln, Turbinenschaukeln, Fanschaukeln oder Luftschraubenblätter, Röhren und Boxen, wobei letztere quadratischen, rechteckigen oder ungleichmäßigen Querschnitt aufweisen können.

Die bevorzugten Gegenstände, die unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt wurden, waren Verdichterschaukeln, die typischerweise ein komplexes Tragflügelprofil aufwiesen, in dem eine zweidimensionale Krümmung vorlag. Eine Dimension der Krümmung oder Wölbung wird leicht in den Gegenstand eingebracht, indem das Teil relativ zum Schweißauftragskopf während jedes Durchlaufs auf einer gekrümmten Bahn bewegt wird, wobei die Bewegung durch Bewegungen des Teils, des Schweißauftragskopfs oder beider Teile erzielt wird. Die andere Dimension der Krümmung wird eingebracht, indem jeder Schnitt um einen schmalen Betrag gegenüber dem vorigen Schnitt lateral verschoben wird.

Die Steuerung der Auftragsbeschichtung wird erzielt, indem die Form des Gegenstandes, beispielsweise einer Schaukel, aus Zeichnungen oder einem Teil, das durch konventionelle Verfahren wie beispielsweise mechanische Bearbeitung präpariert worden ist, numerisch charakterisiert wird. Ist einmal die Form des Teils numerisch erfaßt, so wird die Bewegung des Teils (oder äquivalent die Bewegung des Auftragskopfes) programmiert, wobei zur Verfügung stehende numerische Steuerrechenprogramme zur Erzeugung eines Musters von Anweisungen bezüglich der Bewegung des Teils während jedes Durchlaufs und der lateralen Verschiebung des Teils zwischen den Durchläufen verwendet werden. Der resultierende Gegenstand reproduziert die Form der numerischen Charakterisierung recht genau, wobei komplexe Krümmungen beispielsweise von Tragflügelprofilen eingeschlossen sind.

In der Laserschweißtechnik werden Pulver in einer Einspeisung geschmolzen und das geschmolzene Material auf eine Oberfläche gerichtet. Diese Lösung ist steuerbar und liefert reproduzierbare präzise Ergebnisse. Beim Herstellen eines Gegenstandes durch das erfin-

dungsgemäße Verfahren kann die Materialzusammensetzung des zugeführten Zusatzmaterials über den ganzen Gegenstand konstantgehalten werden. Alternativ hierzu kann die Zusammensetzung des Zusatzmaterials auch innerhalb eines Auftrags oder auch zwischen aufeinanderfolgenden Materialaufträgen variiert werden, um eine steuerbare Zusammensetzungsvariation über den gesamten Gegenstand hin zu erzielen. Beispielsweise kann für eine Verdichterschaukel nahe deren Basis eine feste, harte Legierungszusammensetzung verwendet werden und es kann eine harte, verschleißfeste oder abschleifende Legierung an der Spitze der Schaufel verwendet werden.

Bei der Reparatur von Gegenständen ist es lediglich notwendig, einen Teil der Auftragfolge auf der zuvor entwickelten Gegenstandscharakterisierung zu wiederholen. Bricht beispielsweise eine Verdichterschaukel in der Nähe ihrer Mitte, ist es lediglich notwendig, eine flache Oberfläche auf der Schaufel abzuschleifen, die dem nichtbeschädigten Schnitt oder Profil der Schaufel entspricht, das der Abbruchstelle am nächsten liegt. Darauf folgend wird die rechnergesteuerte Auftragung des übrigen Teils der Schaufel wiederholt. Die reparierte Schaufel ist praktisch nicht vom Original unterscheidbar, da das Original und die Reparatur mit derselben Vorrichtung und demselben formgesteuerten Muster ausgeführt werden. Der reparierte Abschnitt weist keinerlei makroskopisch feststellbare Schweißverbindungsstellen nach der Fertigbearbeitung und auch keine Diskontinuitäten bezüglich des Basisabschnitts der Schaufel auf, da beide Teile in derselben Art zusammengeschweißt werden, die auch bei der Herstellung der Schaufel verwendet wurde.

Eine breite Vielzahl von Materialien kann unter Verwendung der erfindungsgemäßen Lösung schichtweise aufgetragen werden. Darunter fallen Titanlegierungen, Nickellegierungen, Kobaltlegierungen, Eisenlegierungen, Keramiken und Kunststoffmaterialien.

Die vorliegende Erfindung liefert einen wichtigen Fortschritt in der Fertigungstechnik. Es können komplexe Stücke integral mit einem anderen Teil hergestellt werden, wobei nach der Fertigbearbeitung oder Verwendung von Fixierungsmitteln keinerlei makroskopisch feststellbare Legierungslinien vorliegen. Sowohl hinsichtlich der Form als auch lokaler Materialzusammensetzung des Gegenstandes sind eine große Vielseitigkeit gewährleistet. Die Reparatur ist unter Verwendung desselben Verfahrens wie bei ursprünglicher Herstellung unter rechnergesteuerter Materialauftragung vereinfacht.

Im folgenden werden die erfindungsgemäßen Prinzipien sowie weitere Eigenschaften der Erfindung an Hand der Zeichnungen unter Bezugnahme auf bevorzugte Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht von Verdichterscheibe und Verdichterschaukeln, einem sogenannten Blisk;

Fig. 2 eine vergrößerte perspektivische Ansicht des Schaufelbereichs aus Fig. 1;

Fig. 3 eine Aufrißansicht der Schaufel aus Fig. 2;

Fig. 4 eine Seitenansicht auf die Schaufel aus Fig. 2;

Fig. 5 eine schematische Darstellung des Verlaufsmusters vier repräsentativer Materialaufträge A, B, C und D, die in Fig. 3 angedeutet sind; und

Fig. 6 eine Aufrißansicht eines Laserschweißgeräts zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die vorliegende Erfindung ist vorzugsweise in einem Verfahren zum Herstellen oder Reparieren einer mit

einer Verdichterscheibe integralen Verdichterschaukel inkorporiert, obwohl die Erfindung nicht auf solche Verfahren beschränkt ist. In Fig. 1 ist die einstückige Kombination einer Verdichterscheibe 10 und mehreren Verdichterschaukeln 12 dargestellt, wobei diese Kombination eine einstückige Schaufel/Scheiben-Einheit oder Blisk 14 zeigt. Der Scheibenbereich 10 ist ein im wesentlichen zylindrisches radförmiges Bauteil mit einem Radkranz oder Rand bzw. einer Radfelge 16 am Radumfang. Mehrere Schaufeln 12 sind am Scheibenbereich 10 auf dem Scheibenkranz 16 an der jeweils korrekten Position und mit der Orientierung befestigt, die gestatten, Luft beim Drehen des Blisk 14 zu fangen und zu komprimieren. (In Fig. 1 sind zur klareren Darstellung nur wenige Schaufeln 12 um den Umfang des Scheibenbereichs herum angeordnet dargestellt. Normalerweise sind zahlreiche dicht beabstandeter Schaufeln vorhanden.)

Die Fig. 2 stellt den Schaufelbereich 12 detaillierter dar. Der Schaufelbereich 12 ist integral an den Kranz 16 angefügt. D. h., die Schaufel ist nicht als separates Teil geformt und dann an den Kranz und die Scheibe angefügt. Hingegen ist die Schaufel als einstückiges Bauteil und strukturell integral mit dem Kranz 16 mit kontinuierlicher Struktur, die vom Kranz 16 zur Schaufel 12 fortschreitet, ausgebildet.

Die Schaufel 12 ist normalerweise als komplexe Tragflügelprofilform ausgebildet, die durch detaillierte Berechnungen der optimalen Näherungslösung zur Luftverdichtung bestimmt wird. Der Axialverdichter des Getriebes umfaßt normalerweise zahlreiche Verdichterstufen und die präzise Form und Abmessungen jedes Schaufelbereichs variieren von Stufe zu Stufe. Ganz allgemein ist jedoch der Schaufelabschnitt oder -bereich 12 in zwei Richtungen gekrümmt oder gewölbt. Dies bedeutet, daß, wenn ein Koordinatensystem mit senkrechten Koordinaten durch den Radius 18 der Scheibe 10 und eine Umfangstangente 20 an den Kranz 16 definiert wird, zumindest einige Abschnitte der Schaufel 12 sowohl bezüglich des Radius 18 als auch der Tangente 20 gekrümmt sein werden. Darüber hinaus sind Flügeltiefe und Wölbung oder Krümmung nicht über die ganze Schaufel konstant, wobei die Wölbung normalerweise über die Spannweite des Tragflügelprofils und entlang dessen Länge variiert und die Flügeltiefe über die Länge variiert. Die Herstellung derartig komplex gewölbter Formen durch konventionelle Bearbeitung, durch Schmieden oder durch Formgießverfahren erfordert ein sorgfältiges Vorgehen und ist kostenaufwendig.

Die Struktur des Schaufelabschnitts 12 kann mit Schnittlinien charakterisiert werden, die normal zur radialen Richtung 18 durch die Schaufel 12 aufgenommen werden. Vier exemplarische Schnitte A, B, C und D sind in Fig. 3 unter zunehmenden radialen Distanzen angeordnet. Die komplexe Krümmung der Schaufel 12 kann auch aus der Seitenansicht der Fig. 4 entnommen werden.

Die Fig. 5 zeigt das Verlaufsmuster und die relative Lage der Schnittlinien A, B, C und D losgelöst von ihrer Beziehung zur Schaufel 12 in abstrahierter Weise. Die Form der Schaufel am Schnitt A wird durch das Verlaufsmuster A dargestellt, die Form der Schaufel am Schnitt B wird durch das Verlaufsmuster B angezeigt usw. In der vorliegenden Lösung wird die Schaufel 12 hergestellt, indem ein erster Materialauftrag entlang des Verlaufsmusters von A aufgebracht oder aufgetragen wird, ein zweiter Materialauftrag aufgebracht wird, der über dem ersten Auftrag liegt, jedoch dem Verlaufsmuster B folgt, und in dieser Weise weiter vorgegangen

wird. Die Dicke der Schaufel am Schnitt *A* ist normalerweise größer als die Dicke der Schaufel am Schnitt *B*, weil normalerweise ein "Filet" größerer Breite nahe der Basis oder Wurzel der Schaufel ausgebildet wird, wie dies aus Fig. 3 hervorgeht. So kann beispielsweise die Schaufel angrenzend an das Substrat mit einer Breite oder Weite von vier Materialaufträgen ausgebildet werden, die nächste Schicht kann aus einer Breite von drei Materialaufträgen aufgebaut werden, die nächstfolgende Schicht oder Lage aus zwei Materialauftragsbreiten und die folgenden Schichten jeweils aus einer Breite von einem Materialauftrag. Die Dicke der Schaufel in den verschiedenen Lagen oder Schnitten kann durch Ändern der Anzahl von Materialaufträgen in jeder Lage steuerbar variiert werden.

Die Form der Schaufel (abgesehen von und als zusätzliches Unterscheidungsmerkmal zu ihrer Dicke) wird durch Ändern der Form und des Verlaufsmusters vom Materialauftrag variiert. Der Materialauftrag entlang des Verlaufsmuster *B* weist eine verschiedene Form vom Materialauftrag entlang des Musters *A* auf, wie aus den in Fig. 5 gezeigten verschiedenen Krümmungen der Verlaufsmuster *A* und *B* hervorgeht. Die Krümmung oder Wölbung kann auch steuerbar variiert werden, indem ein Materialauftrag gegenüber dem darunterliegenden, zuvor aufgetragenen Materialauftrag verschoben wird. Beispielsweise ist das Verlaufsmuster *B* gegenüber dem Verlaufsmuster *A* um eine Verschiebung 22 lateral verschoben, die lagemäßig entlang des Materialauftrags variiert. D. h., daß das Muster *B* nicht nur eine verschiedene Form oder einen verschiedenen Verlauf aufweist, sondern auch eine andere räumliche Lage in bezug auf das Muster *A*. Infolgedessen liegt der Materialauftrag, der dem Verlauf des Musters *B* folgt, nicht unmittelbar über dem Materialauftrag, der dem Verlaufsmuster *A* folgt, sondern ist geringfügig auf eine andere, verschiedene Lage verschoben. Die Verschiebung kann auch entlang der Musterlänge vorgesehen sein, wodurch der Schaufel eine langgestreckte gewundene Krümmungsform verliehen wird. Obwohl die dargestellte Verschiebung ziemlich groß erscheinen mag, sei hier erneut darauf hingewiesen, daß die illustrativen Muster *A* und *B* in den Zeichnungen zum Zwecke der verdeutlichten Darstellung an weit getrennten Schnitten aufgenommen sind. In Wirklichkeit sind die Verschiebungen *H* zwischen zwei, aneinandergrenzenden Aufträgen gering, typischerweise etwa 0,38 mm (0,015 inch.), und liegen sehr wohl in den Grenzen zur Aufrechterhaltung der Kontinuität der Form der Schaufel 12.

Um die Schaufel 12 herzustellen, wird die Schaufelform zunächst durch Einteilung in Abschnitte durch einen Schnitt charakterisiert. D. h., das Verlaufsmuster und die Lage jedes Schnitts oder Profils wird sorgsam entweder aus einer Zeichnung, einer Berechnung oder einem zuvor hierfür präparierten Teil aufgezeichnet. Für jeden Schnitt kann die notwendige Information auf eine von zwei Arten gewonnen werden. Bei einem relativen Positionierungsverfahren ist es notwendig, (1) das Verlaufsmuster des Schnitts oder Profils, d. h. die Koordinaten jedes Punktes entlang der Verlaufslinie (wie bei *B*) und die relative Lage (2) des Schnitts bezüglich des vorangehenden Schnitts (wie die Verschiebung 22 zwischen dem Verlaufsmuster *B* und dem Verlaufsmuster *A*) auf der Grundlage einer punktwisen Betrachtung zu ermitteln bzw. zu kennen. Alternativ hierzu ist es bei einem absoluten Positionierungsverfahren notwendig, die Position jedes Punktes vom Materialauftrag bezüg-

lich irgendeinem äußeren Bezugssystem zu ermitteln und zu kennen. In jedem Fall kann die numerische Information, die in ihrer Gesamtheit die Form der Schaufel in drei Dimensionen definiert, leicht in der bei numerisch gesteuerten Metallbearbeitungsvorgängen verwendeten Weise bestimmt und gespeichert werden.

Ist die detaillierte Form der Schaufel oder eines anderen Gegenstandes definiert, werden Metallaufträge zur Reproduktion der gespeicherten numerischen Form in Form übereinanderliegender Schichten aufgebracht. Es ist notwendig, eine Vorrichtung bzw. ein Gerät zu verwenden, das einen wohl definierten Auftrag erzeugt und darüber hinaus so steuerbar ist, daß es der geforderten numerischen Form hierbei folgt. Es wurde eine Laserschweißvorrichtung entwickelt, die diesen Anforderungen gerecht wird und die weiter unten näher erläutert wird. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf die Vorrichtung selbst gerichtet, sondern betrifft ein Anwendungsverfahren.

Im einzelnen wird ein erster Materialauftrag 24 entlang des Verlaufsmusters *A* auf dem Kranz 16, der ein Substrat bildet, aufgebracht. Es wird in den Kranz 16 ausreichend viel Wärme übertragen, um eine Oberflächenschmelzung des Substratmaterials hervorzurufen, und das Material des Auftrags 24 wird, wenn es das Substrat erreicht, vorherrschend geschmolzen. Die geschmolzenen Materialien vermischen sich und erstarren schnell. Der erste Auftrag 24 wird auf diese Weise in den Kranz 16 zur Ausbildung einer integralen Verbindung hiermit hineingeschmolzen. Es sind makroskopisch keine Verbindungslinie oder Lamination sichtbar oder nachweisbar. Nach der endgültigen Bearbeitung bzw. Fertigbearbeitung für sämtliche praktische Zwecke ist der erste Materialauftrag 24 vollständig integral mit dem Kranz 16. Sind die Zusammensetzungen des Materials vom Kranz 16 und des ersten Materialauftrags 24 verschieden, so liegt in der geschmolzenen Zone ein gewisses Ausmaß an Vermischung der Bestandteile vor.

Nach Beendigung des Durchgangs oder Durchlaufs, die den ersten Auftrag 24 ausbilden, führt die Auftragvorrichtung einen zweiten Durchlauf zur Auftragung eines zweiten Materialauftrags 26 durch. Im zweiten Durchlauf folgt das Teil dem Verlaufsmuster des nächsten Schnitts oder Profils, das dem Schnitt *A* folgt, wobei dieses neue Profil allgemein ein geringfügig verschiedenes Verlaufsmuster (Krümmung), eine andere Lage sowie Länge aufweisen wird und darüber hinaus lateral verschoben sein kann, wobei diese Parameter zuvor bestimmt und gespeichert worden sind. Die Distanz zwischen jedem Schnitt oder Profil für die Charakterisierung der Form der Schaufel 12 wird normalerweise so aufgenommen, daß sie ungefähr der Höhe *H* des Auftrags, der von der Auftragvorrichtung aufgebracht wird, entspricht, wobei diese Höhe vom Typ der Vorrichtung, dem aufgetragenen Material, der Bewegungsgeschwindigkeit und anderen Faktoren entspricht, bei Laserschweißung jedoch typischerweise ungefähr 0,38 mm (0,015 inch.) beträgt. Der erste Materialauftrag 24 wird lokal teilweise geschmolzen, sowie der zweite Auftrag 26 darüber aufgebracht bzw. abgeschieden wird. Der zweite Auftrag 26 wird infolgedessen in derselben, zuvor für das Einschmelzen des ersten Materialauftrags 24 in das Substrat beschriebenen Weise in den darunterliegenden ersten Auftrag 24 eingeschmolzen, wodurch wiederum eine vollständig integrale Struktur hervorge-rufen wird.

Diese Auftragprozedur eines jeweils darüberliegenden Auftrags wird so lange wiederholt, bis die gesamte

Schaufelhöhe ausgebildet ist. Durch Auftragen der Materialaufträge, die den Verlaufsmustern folgen, die zuvor bestimmt wurden, wird die Schaufel exakt reproduziert. Jede Rauigkeit auf der Oberfläche der Schaufel infolge einer unzureichenden Paßgenauigkeit aufeinanderfolgender Schaufeln kann weggeschliffen oder -poliert werden, wodurch die Herstellung der integralen Schaufel beendet wird.

Die vorliegende Lösung bietet zusätzlich zur Vielseitigkeit und dem integralen Aufbau, die zuvor angedeutet wurden, wichtige Vorteile. Das in die Auftragsvorrichtung eingespeiste Material kann entlang der Länge einer jeden Materialauftragung oder zwischen aufeinanderfolgenden Materialauftragungen zur Variierung der Zusammensetzung des Gegenstandes zwischen seinen verschiedenen Bereichen variiert werden. Da die Zusammensetzung des aufgetragenen Materials wie die Form des Gegenstandes numerisch gesteuert werden kann, ist es möglich, Körper spezieller Zusammensetzung zur Erzielung spezieller Zwecke auszubilden und zu formen. Beispielsweise können die Abschnitte nahe der Basis der Schaufel 12 (d. h. dem Schnitt A) fest und duktil ausgebildet werden, während die Abschnitte nahe der Spitze der Schaufel 12 (d. h. dem Schnitt D) hart und verschleißfest bzw. abtragfest oder abschleifend ausgebildet werden können. Abschnitten, die der aerothermischen Erwärmung am meisten unterliegen, kann eine spezielle Zusammensetzung verliehen werden. Darüber hinaus ist die Mikrostruktur der Schaufel von der mit anderen Verfahren erzeugten Schaufelstruktur verschieden und weist eine aufeinanderfolgend wiederge-schmolzene Struktur auf.

Die Reparatur der Schaufel 12 nach Beschädigung oder Zerstörung im Gebrauch ist durch die vorliegende erfindungsgemäße Lösung ebenfalls erleichtert. Ist beispielsweise die Spitze der Schaufel 12 entlang der in Fig. 3 gezeigten gestrichelten Linie 28 abgebrochen, wird die Reparatur durchgeführt, indem die Schaufel 12 bis zu einem Schnitt hin abgeschliffen wird, bei dem festgestellt ist, daß dort keinerlei Beschädigung vorliegt. Ein solcher Schnitt kann z. B. der Schnitt bzw. das Profil C sein. Die Auftragung einer neuen Spitze, die über dem Schnitt C liegt, würde dann in exakt derselben Weise durchgeführt, als würde die Schaufel unter Verwendung dieses Verfahrens erstmalig hergestellt. Die numerische Charakterisierung der Schaufel wird für diese Möglichkeit gespeichert und dokumentiert, so daß die Spitze identisch zur ursprünglichen, zerstörten Spitze wieder aufgetragen werden kann. Darüber hinaus können sämtliche verbesserten Eigenschaften, wie z. B. eine neue, verbesserte Tragflügelprofilform oder eine andere Materialzusammensetzung berücksichtigt und in das Verfahren inkorporiert werden, wenn eine solche Modifikation die Ausführungseigenschaften des Blisks 14 nicht verändert, da den übrigen Schaufeln dieselbe Modifikation nicht verliehen würde. Auf jeden Fall würde die reparierte Schaufel infolge des Aufschmelzens und Verschmelzens aufeinanderfolgender Aufträge entlang ihrer Länge vollständig integral bleiben und keinerlei Ebene signifikanter Schwäche aufweisen.

Es sind zahlreiche verschiedene Techniken zur Abscheidung oder Auftragung von Metallaufträgen und anderen Substanzen bekannt. Einige erzeugen ein diffuses Spray, wobei derartige Techniken im allgemeinen nicht auf die praktische Umsetzung der vorliegenden Erfindung anwendbar sind. Als eine den erfindungsgemäßen Anforderungen besonders genügende Vorrichtung wurde eine Laserschweißvorrichtung ermittelt, in

der ein Laserstrahl auf der Oberfläche, auf die er gerichtet wird, ein sogenanntes Schweißbad schmilzt und feinzerteiltes Zusatzmaterial oder Zusatzwerkstoff in den geschmolzenen Bereich eingespeist wird, um einen neuen Materialauftrag hinzuzufügen, der als sogenanntes "Bead" bezeichnet wird. Durch Bewegen des jeweiligen Teils entlang einer gesteuerten Bahn wird ein sorgfältig definiertes und geformtes Bead, in dieser Anmeldung mit Materialauftrag bezeichnet, ausgebildet.

Eine Vorrichtung 38 zur Durchführung einer gesteuerten Auftragschweißung von Materialaufträgen mit einem Laser ist in der Fig. 6 dargestellt. Diese Vorrichtung ist in der US 47 30 093, deren Offenbarung Bezugsmäßig inkorporiert ist, detaillierter beschrieben. Die praktische Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist jedoch nicht auf die Verwendung dieser speziellen Vorrichtung beschränkt.

Die Vorrichtung 38 umfaßt ein umschlossenes Pulverreservoir, das allgemein mit 40 angedeutet ist, welches mit Heizspulen 42 zur Steuerung des Feuchtigkeitsgehalts im Pulver auf einen niedrigen Pegel erwärmt wird. Ferner ist eine Gaseinlaßöffnung 44 vorgesehen, durch die vorzugsweise trockenes inertes Gas wie Argon, dargestellt durch den Pfeil 46, eingebracht wird, um das Pulver 48 im Reservoir 40 mit Druck zu beaufschlagen und den Pulvertransport zu unterstützen. Mit diesem Pulverreservoir ist ein mechanischer, volumetrischer Pulvereinspeisungsmechanismus, beispielsweise in Form einer im Handel erhältlichen Art eines Pulvervorschubrades 50 verknüpft. Der in einer Ausführungsform der gezeigten Vorrichtung verwendete Mechanismus bestand in einem modifizierten Metco-"L"-Artvorschubrad.

Auf der Abstromseite des Rades 50 ist eine Rüttelvorrichtung, beispielsweise in Form eines luftbetätigten Rüttlers 52 vorgesehen, die mit einer Zuleitung 54 verbunden ist und dazu dient, zu verhindern, daß Teilchen die sich durch die Leitung 54 bewegen, aneinander oder an den Wandungen der Leitung 54 haften. Die Leitung 54 endet in einer wassergekühlten Pulverförderdüse 56, die das Pulver unterstützt durch das unter Druck gesetzte Inertgas in einer konsistenten Strömung z. B. auf ein Substrat hin oder auf einen zuvor auf der Schaufel 12 aufgetragenen Materialauftrag hin richtet. Es wurde herausgefunden, daß Reflexionen vom Laserstrahl in einer Verstopfung mit Pulver, das durch die Düse 56 geleitet wird, resultieren kann. Infolgedessen weist eine solche Düse vorzugsweise zumindest einen Endabschnitt auf, der aus einem Material, beispielsweise Kupfer oder Aluminium, gefertigt ist, das bezüglich der Wellenlänge des verwendeten Lasers hochreflektierend ist und z. B. mit Wasser fluidgekühlt wird, um ein solches Problem zu vermeiden und zur konsistenten Pulverströmung beizutragen, d. h. einen gleichmäßigen zusammenhängenden Pulverfluß zu erzeugen. Eine solche konsistente Pulverströmung resultiert aus der Kombination der Verwendung von Pulver, das unter geringer Feuchtigkeit unter dem positiven Druck eines inertes Gases gehalten wird, mit Hilfe eines mechanischen volumetrischen Pulvereinspeisungsmechanismus in Zusammenarbeit mit einer Pulverrüttelvorrichtung eingespeist wird, und der Verwendung einer gekühlten Düse, durch die das Pulver zur Gegenstandsoberfläche im Laserstrahlfleck geleitet wird.

Ferner wird eine Anordnung mit in Betracht gezogen, die zusätzliche Leitungen 54 eines ähnlichen Aufbaus aufweist, die um die Einspeisestelle des Pulvers herum beabstandet sind, wenn dies gewünscht wird. Die Pul-

verströme, die von den unterschiedlichen Leitungen 54 eingespeist würden, würden derart angeordnet, daß an der Oberfläche des Werkstückes eine Konvergenz vorläge.

Die Vorrichtung 38 umfaßt einen Laser 58, der einen Strahl 60 emittiert, der eine Strahlachse 62 aufweist. Der Laser 58 weist eine ausreichende Leistung auf, um seiner Schmelzfunktion gerecht zu werden. Ein betriebsfähiges Beispiel der Erfindung verwendete einen 5 kW-Kohlendioxidlaser zur Herstellung von Verdichterschaukeln, jedoch können auch Laser größerer oder geringerer Leistung verwendet werden, wenn dies nötig ist. Der Strahl 60 weist eine Brennebene 64 unterhalb der Oberfläche 66 auf, auf der der Materialauftrag aufgebracht werden soll, um auf der Oberfläche einen Strahlfleck 68 einer Größenausdehnung hervorzurufen, die typischerweise im Bereich von 0,127 mm bis 5,08 mm (0,005 bis 0,2 inch.) liegt, wobei diese Dimensionierung wiederum nur illustrativen, jedoch nicht einschränkenden Charakter aufweist. Die Laserenergie wird normalerweise mit einer Leistungsdichte von etwa 10^3 bis 10^6 W/cm² zugeführt, um ein Materialbad zu schmelzen, das mit dem Strahlfleck 68 zusammenfällt.

Der Materialauftrag wird abgeschlossen, indem durch die Leitung 54 Pulver in das Schmelzbad am Strahlfleck 68 eingetragen wird. Das Pulver wird von der Düse 56 unter einem Winkel eingespeist, der vorzugsweise im Bereich von 35 bis 60° bezüglich der Gegenstandsfläche und am bevorzugtesten im Bereich von etwa 40 bis 55° liegt. Ein Winkel von mehr als 60° erschwert es der Düse und dem Pulver, eine vorzeitige Wechselwirkung zwischen dem Laserstrahl zu vermeiden, und ein Winkel von weniger als 35° erschwert die gleichzeitige Einspeisung des Pulvers mit dem Laserstrahl auf einem auf der Gegenstandsfläche gewünschten Fleck. Da zwischen dem Laserstrahlfleck und dem Gegenstand, der das übereinandergeschichtete Pulver trägt, eine relative Lateralbewegung vorgesehen wird, tritt eine fortschreitende Schmelzung, Kühlung und Erstarrung der geschmolzenen Wechselwirkungszone unter Erzeugung einer Auftragschicht auf.

Das Blik 14, von dem die Schaufel 12 und der Kranz 16 einen Teil bilden, ist auf einem bewegbaren Support 80 gehalten, der die Schaufel 12 in zwei Richtungen, die X-Richtung 70 (und die -X-Richtung) und die Y-Richtung 71 bewegt (aus der Zeichenebene in Fig. 6 und in -Y-Richtung in die Zeichenebene der Fig. 6 hinein, wie durch den Punkt bei der Bezugszahl 71 angedeutet ist). Durch Steuerung der Kombination einer X- und Y-Richtungsbewegung des Supports 80 wird, während die Leitung 54 und der Laser 58 unter konstanter Höhe gehalten werden, ein wohl definierter Materialauftrag aufgebracht, der ein Verlaufsmuster aufweist, das für den bestimmten jeweiligen Schnitt der Schaufel 12 erforderlich ist.

Die Leitung 54 und der Laser 58 sind starr an einem Vorrichtungsträger 82 gehalten. Der Träger 82 ist in Z-Richtung 84 (und in -Z-Richtung) bewegbar, um die Leitung 54 und den Laser 58 anzuheben oder abzusenken. Über den Support 80 und den Träger 82 können der Laser 58 und die Leitung 54 relativ zur Schaufel 12 in allen drei Richtungen bewegt werden. Durch Steuerung der Kombination der X- und Y-Richtungsbewegung des Supports 80 bei Aufrechterhalten einer konstanten Höhe in Z-Richtung der Leitung 54 und des Lasers 58 wird ein wohl definierter Materialauftrag mit dem für den bestimmten Schnitt der Schaufel 12 erforderlichen Muster aufgetragen. (In äquivalenter Weise kann eine

Kombination der relativen X-, Y- und Z-Bewegung angewandt werden, indem der Halter 82 in X- und Y-Richtung und der Support 80 in Z-Richtung bewegt werden oder irgendeine vergleichbare Kombination von Bewegungen angewandt wird.)

Bei abgeschlossener Aufbringung des Materialauftrags (beispielsweise des ersten Materialauftrags 24) wird die Vorrichtung 28 um ein Inkrement nach oben eingestellt, um die Leitung 54 und den Laser 58 um ein Höhenausmaß anzuheben, das typischerweise so ausgewählt wird, daß es der Höhe oder Dicke des Auftrags *H* entspricht, so daß ein weiterer Auftrag (beispielsweise der zweite Auftrag 26) so aufgebracht werden kann, daß er über dem ersten Auftrag 24 liegt. Die Fig. 6 stellt den Auftragprozeß in einem Stadium dar, bei dem der erste Materialauftrag 24 abgeschlossen ist und der zweite Materialauftrag 26 teilweise aufgebracht worden ist. Beim Aufbringen des zweiten Auftrags 26 wird der obere Bereich des ersten Auftrags 24 erneut geschmolzen, wodurch die Mischung und strukturelle Kontinuität der beiden Aufträge 24 und 26 gewährleistet werden.

Im folgenden werden zur Verdeutlichung von Aspekten der Erfindung einige Beispiele angegeben, die jedoch in keiner Weise einschränkende Merkmale der Erfindung beinhalten.

Beispiel 1

Die oben beschriebene Vorrichtung wurde dazu verwendet, eine Verdichterschaukel integral mit einem Substrat auszubilden. Der Strahl eines 3 kW-Kohlendioxidlasers wurde auf einen Fleckdurchmesser von 0,356 cm fokussiert, so daß eine Leistungsdichte von 30 kW/cm² vorlag. Eine zweifach gekrümmte Verdichterschaukel mit einem Aufbau, wie er allgemein in den Fig. 1 bis 5 dargestellt ist, wurde durch Beschichtung aufgetragen. Die Länge der Schaufel betrug etwa 76 mm (3 inch.). Die Höhe jedes Materialauftrags betrug etwa 0,38 mm (0,015 inch.). Eine Gesamtheit von 200 Durchläufen war erforderlich, um die Schaufel zu fertigen, wobei eine lineare Querbewegungsgeschwindigkeit vom Substrat relativ zum Laserstrahl von 1,27 m/min (50 in/min) angewandt wurde, als das Pulver aufgetragen wurde. Die aufgetragene Legierung bestand aus Ti-6Al-4V, das der Leitung als Pulver mit einem Siebaperturwert von $-0,51/+0,065$ mm Siebaperturwert ($-35/+230$ mesh) und einer Einspeisungsrate von ungefähr 10 g/min zugeführt wurde. Das Substrat bestand ebenfalls aus Ti-6Al-4V. Die Schaufel und der sie umgebende Bereich befanden sich während des Auftrags innerhalb einer Argonatmosphäre.

Beispiel 2

Beispiel 1 wurde wiederholt, wobei in diesem Beispiel eine Inconel 718 Legierung sowohl für das Auftragsmaterial als auch das Substrat verwendet wurden und die Querbewegungsgeschwindigkeit 2,03 m/min (80 in/min) betrug.

Beispiel 3

Beispiel 2 wurde wiederholt, wobei lediglich ein anderes Substrat aus einer Rene 95 Legierung bestand.

Die Ausführungsbeispiele zeigen, daß das erfindungsgemäße Verfahren ein außerordentlich vielseitiges "Werkzeug" zum Herstellen und Reparieren von Gegenständen liefert. Die vorliegende Erfindung wurde an

Hand spezieller Ausführungsbeispiele näher erläutert, es ist jedoch unmittelbar klar, daß zahlreiche Abwandlungen und Änderungen möglich sind, ohne von der Erfindungsidee abzuweichen oder den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Gegenstandes, **gekennzeichnet durch** die Schritte des:
 Aufbringens eines ersten Materialauftrages in einem Muster und einer Ausdehnung eines ersten Querschnitts des Gegenstandes;
 Aufbringens eines zweiten Materialauftrags, der über dem ersten Materialauftrag liegt, in einem Muster, einer Lage und Ausdehnung bezogen auf den ersten Auftrag eines zweiten Querschnitts des Gegenstandes, wobei der zweite Querschnitt an einer Stelle aufgenommen wird, die vom ersten Querschnitt um die Dicke des ersten Materialauftrags beabstandet ist; und
 Wiederholens des Schritts der Aufbringung eines zweiten Auftrags in mehreren Materialaufbringungsschritten, wobei jeder folgende Auftrag in einem Muster, einer Lage und Ausdehnung relativ zum zuvor aufgetragenen Auftrag des nächsten Gegenstandsquerschnitts aufgebracht wird, der an einer Stelle aufgenommen wird, die vom jeweils vorigen Querschnitt um die Dicke des zuvor aufgetragenen Auftrags beabstandet ist, bis der gesamte Gegenstand vollständig ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Gegenstand gekrümmt ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest in einem (besonderen) Fall verschiedene Materialien in aufeinanderfolgenden Materialaufträgen verwendet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Gegenstand eine Verdichterschaukel ist.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß während des Aufbringens des folgenden Auftrags ein Teil des vorhergehenden Auftrags geschmolzen wird, um eine Schweißverbindung zwischen den beiden Aufträgen auszubilden.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Aufbringens durch Laserschweißung ausgeführt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Winkel des Aufbringens jedes Auftrags auf dem vorherigen Auftrag konstant ist.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein für die Aufträge verwendetes Material aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Titanlegierungen, Nickellegierungen, Kobaltlegierungen, Eisenlegierungen, Keramiken oder Kunststoffmaterialien umfaßt.
9. Gegenstand, gekennzeichnet durch die Herstellung nach Anspruch 1.
10. Verfahren zum Herstellen eines Gegenstandes, gekennzeichnet durch die Schritte des:
 charakterisierenden Erfassens des Gegenstandes in Form mehrerer paralleler Schnitte, wobei jeder Schnitt ein Verlaufsmuster und eine Lage aufweist, und jeder Schnitt von den angrenzenden Schnitten durch die Dicke eines Auftrags eines Materials verschoben ist; und

des Aufbringens einer Aufeinanderfolge von Materialaufträgen, die übereinanderliegen, wobei jeder Auftrag ein Muster und eine Lage aufweist, die der des zugehörigen Schnitts entspricht, der im Schnitt der charakterisierenden Erfassung bestimmt worden ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Schnitt des Aufbringens mit Hilfe eines Rechners gesteuert wird und daß das Verlaufsmuster und die Lage der mehreren parallelen Schnitte, die im Schritt der charakterisierenden Erfassung bestimmt worden sind, im Rechner gespeichert werden.

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Gegenstand zweifach gekrümmt ist.

13. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest in einem (besonderen) Fall unterschiedliche Materialien in aufeinanderfolgenden Materialaufträgen verwendet werden.

14. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Gegenstand eine Verdichterschaukel ist, die integral an eine Verdichterscheibe angefügt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil des vorhergehenden Auftrags während des Aufbringens des folgenden Auftrags zur Ausbildung einer Schweißverbindung zwischen den beiden Aufträgen geschmolzen wird.

16. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Aufbringens durch Laserschweißung ausgeführt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das für die Aufträge verwendete Material aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Titanlegierungen, Nickellegierungen, Kobaltlegierungen und Eisenlegierungen umfaßt.

18. Gegenstand, gekennzeichnet durch die Herstellung nach dem Verfahren von Anspruch 10.

19. Verfahren zum Herstellen einer Verdichterschaukel, die integral mit einer Verdichterscheibe ausgebildet ist, gekennzeichnet durch die Schritte des

Bereitstellens einer Verdichterscheibe mit einer Substratoberfläche an ihrem Umfang;

Aufbringens eines ersten Materialauftrags auf der Substratoberfläche, wobei der Auftrag des Verlaufsmusters und die Position der an die Verdichterscheibe angrenzenden Verdichterschaukel aufweist; und

des Aufbringens einer Folge von Materialaufträgen, von denen jeder über dem zuvor aufgetragenen Auftrag liegt und von denen jeder das Verlaufsmuster und die Position des entsprechenden Abschnitts der Verdichterschaukel aufweist.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß ein Material für die Aufträge verwendet wird, das aus einer Gruppe ausgewählt wird, die Titanlegierungen, Nickellegierungen, Kobaltlegierungen und Eisenlegierungen umfaßt.

21. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß während des Aufbringens des folgenden Auftrags zur Ausbildung einer Schweißverbindung zwischen den beiden Aufträgen geschmolzen wird.

22. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Aufbringens durch Laserschweißung ausgeführt wird.

23. Gegenstand, gekennzeichnet durch das Herstellungsverfahren nach Anspruch 19.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

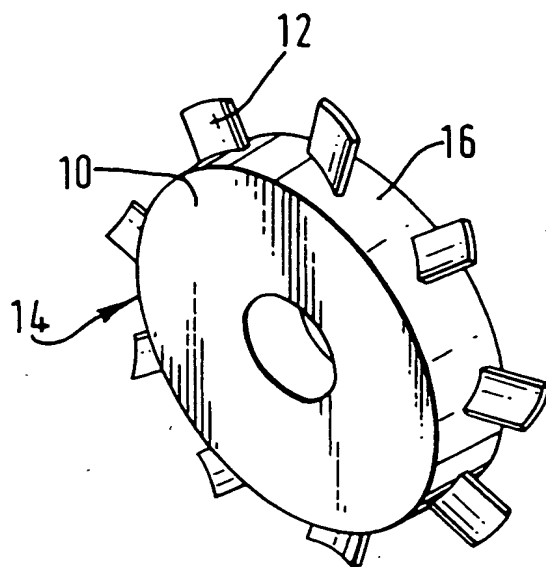
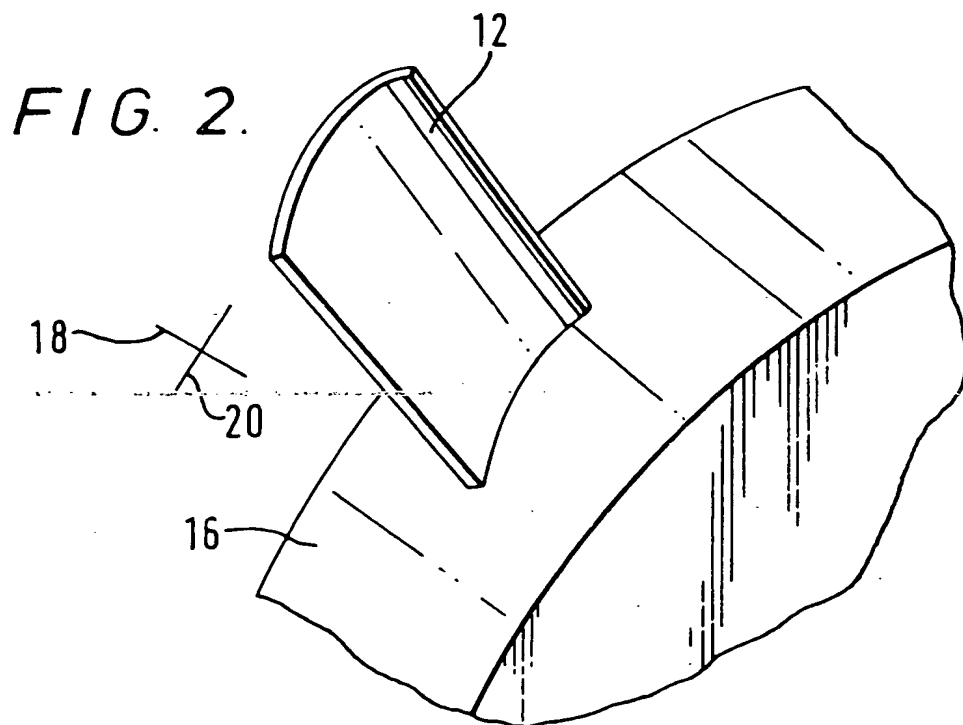


FIG. 1.



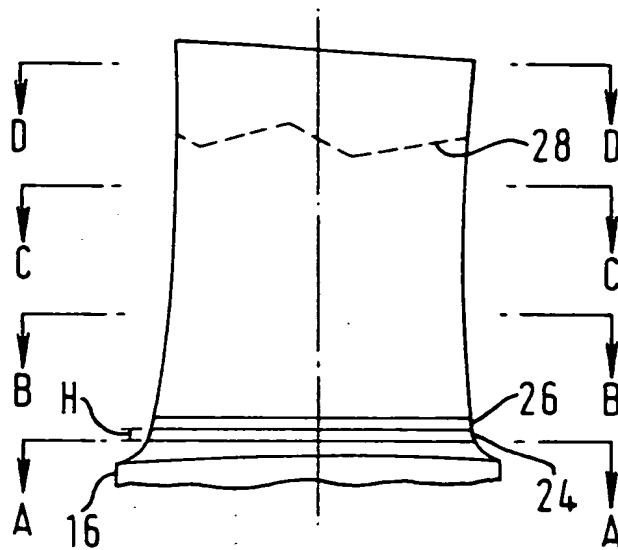


FIG. 3.

FIG. 5.

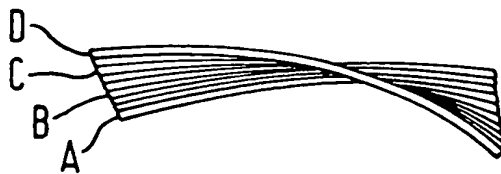
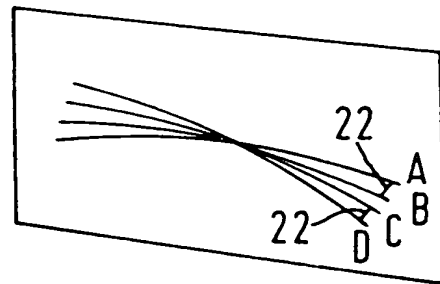


FIG. 4.

